

# Estudio de la Teleoperación de Robots Móviles en Entornos Hostiles ante Restricciones en la Biorrealimentación

Daniel Cárdenas, *Estudiante UTFSM, Valparaiso*

**Abstract**—En un sistema tele operado existe una degradación de en la biorrealimentación del operador al ejecutar el trabajo debido a la limitaciones que se producen en la comunicación, para poder garantizar algún tipo de calidad de servicio (QoS) a un sistema de este estilo es necesario conocer cómo afectan estas limitaciones en la biorrealimentación del operador con el robot. Para encontrar esta relación y definir las correctas asignaciones de los recursos (específicamente la latencia que está asociada a los retardos de la transmisión, y los distintos tipos de compresión que está asociado a la tasa de transferencia) para los distintos tipos de tareas. Se propone realizar distintos tipos de pruebas variando distintas latencias y distintos tipos de compresión para así poder definir cómo afectan estos dos parámetros a la ejecución de una tarea.

## I. INTRODUCTION

Existen tareas que las personas no son capaces de realizar, debido a distintos factores como las condiciones extremas del ambiente, tamaño del espacio de trabajo, o la complejidad de realizar ciertas operaciones. Para solucionar este tipo de problemas se utiliza un sistema tele-operado en donde el operador desde una estación de trabajo opera desde un lugar remoto a un robot, el cual es que desempeña la tarea que se desea realizar. Algunos casos de sistema teleoperado son el desactivado de bombas, exploración submarina, reparación de estaciones espaciales a través de brazos robóticos o incluso tele-cirugía.

En un sistema teleoperado en tiempo real basado en Internet, diversos tipos de datos se transmiten entre el operador y el robot, como señales de control, señales de odometría o contenido multimedia como video y audio. Dentro de este sistema existe una degradación de en la biorrealimentación del operador con el robot al ejecutar un trabajo debido a la limitaciones que se producen en la comunicación, como limitaciones de retardos, anchos de bandas o pérdidas de paquetes. Para poder garantizar algún tipo de calidad de servicio (QoS) a un sistema de este estilo es necesario conocer cómo afectan estas limitaciones en la biorrealimentación del operador con el robot, para esto, se considera que diferentes tareas dentro de la ejecución del trabajo tienen distintos niveles de destreza, los cuales requerirán de una distinta asignación de los recursos para poder garantizar una correcta ejecución de una tarea.

## II. SISTEMA TELEOPERADO A ANALIZAR

En el sistema teleoperado a analizar se presentan dos espacios físicos distintos, por un lado se encuentra el tele-operador

el cual a través de un controlador, envía distintas señales de control al robot a través de internet, además en este espacio se recibe a través de una pantalla, la información que está pasando en el otro extremo. En el espacio remoto el robot recibe las señales de control del operador y este interactúa con el ambiente, enviando devuelta información sobre el estado del robot, en el caso del sistema a analizar el robot envía contenido multimedia de video para informar sobre el estado de la operación.

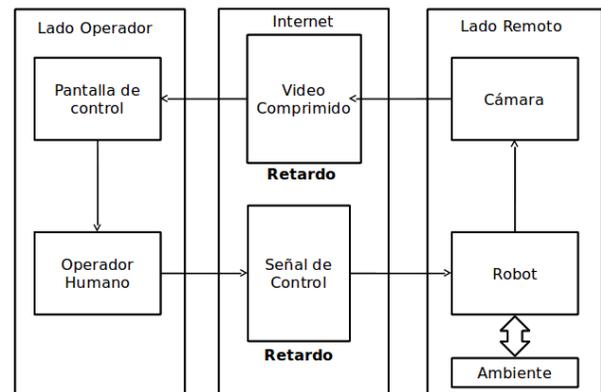


Fig. 1: Sistema Teleoperador-Robot a analizar

Como se muestra en la Figura 7 la transmisión de la información entre el operador y el robot está afectada por los retardos producidos en la comunicación y las distintas tasa de transmisión las cuales determinan los niveles de compresión en el envío de contenido multimedia.

## III. SIMULACIÓN DE RETARDOS Y COMPRESIÓN

### A. Simulación de retardos

Para la simulación de retardo se propone implementar una aplicación intermedia entre el operador y el robot, la cual logre simular de correcta manera las distintas caracterizas de la red. La aplicación debe guardar los paquetes recibidos en un buffer y el algún momento especificado por la configuración del tipo de red que se desea, debe sacar los paquetes del buffer y enviarlos al destino original.

1) *Para Implementar los retardos:* Para agregar un retardo adicional a la operación, la aplicación intermedia debe registrar los tiempos de llegada de cada paquete entrante en el buffer y transmitirlos en un intervalo de tiempo especificado por la cantidad de latencia que se desea.

2) *Para Implementar limitaciones de Tasa de Transmisión:* Para poder implementar limitaciones del ancho de banda del sistema se propone registrar los pesos de cada paquete entrantes, re enviar el paquete, y retransmitir el siguiente paquete dependiente del ancho de banda de la red, es esta forma, de forma de asegurar que la tasa promedio entre los paquetes sea la desea dependiendo del caso.

### B. Distintos tipos de Compresión

El factor principal que limitará el uso de ancho de banda de la red es la cálda del contenido multimedia, en donde para manejar los distintos tipos de calidad se deben manejar distintos tipos de compresión del contenido, para esto se analizará principalmente el efecto la resolución del contenido debido a que es el factor más determinante en la cantidad de datos transmitidos. Otra alternativa es varia los distintos tipos de compresión, sin embargo la diferencia de ancho de banda entre esto tipos no difiere lo suficiente en el eso del ancho de banda de la red.

### C. Otros tipo de QoS

También se podrían simular un distinto tipo de asignación de los recursos de ancho de banda de la red, como en el caso de Token Bucket, se puede implementar un balde de fichas que se agregan constantemente al buffer de tal manera de apreciar el efecto de este tipo de asignación en la Teleoperación.

## IV. TAREA A REALIZAR

La tarea a realizar consistirá en el seguimiento de un robot a través de un camino. Es importante que el camino se lo suficientemente complejo para el operador, para de esta manera apreciar de buena manera la influencia de los distintos tipos asignaciones de los recursos.

## V. ÍNDICE DE DESTREZA

El índice de destreza proporciona una medida de la destreza, determinando numéricamente la complejidad que experimenta el usuario para realizar de manera correcta un trabajo. Este índice indicará que tan restringida será la asignación de recursos dada una tarea especificada. Para poder obtener distintos indicadores para el índice de destreza primero es importante analizar cuáles son los parámetros de control a implementar. Como referencia se usaron distintos parámetros de control que comprometes la destreza de una tarea, estos parámetros de puede encontrar en [1] y [2], de los cuales se destacan.

### A. Métrica calidad de Operación

Este tipo de métrica especifica una medición en la precisión de la tarea. Para estas medidas se usan distintos tipos de métricas, en este caso se usará el sencillo, calculando el error cuadrático medio

1) *Señales de Control:* Se propone buscar algún tipo de métrica respecto a las señales de control que ejerce el operador sobre el robot

2) *Curvatura del camino:* La curvatura de camino medirá el nivel de complejidad en los distintos niveles de caminos.

3) *Estado del operador:* Generalmente se realiza algún tipo de censado sobre el operador mediante realiza la tarea, en este caso este parámetro de control se medirá mediante encuesta.

### B. Calculo Índice de Destreza

Para el cálculo del índice de destreza se propone la métrica usada en [2], la cual consiste en un promedio ponderando entre los distintos parámetros a utilizar en este caso, la expresión a utilizar consiste en:

$$index = f(u) = \frac{\sum_{j=1}^M a_j g_j u_j}{\sum_{j=1}^M a_j} \quad (1)$$

Donde:

- $u_j$ : Corresponde al parámetro de control a utilizar
- $g_j$ : Medida del parámetro de control  $u_j$
- $a_j$ : Peso asignado al parámetro de control  $u_j$

## VI. ASGINADOR DE RECURSOS

El cálculo del índice de destreza además de calcular el índice de complejidad en la ejecución de una tarea, determina la forma en que se deben asignar los recursos de red para la ejecución de una subtarea dentro de la tarea general. Por esto mismo en [1] se propone la implementación de un asignador de recursos:

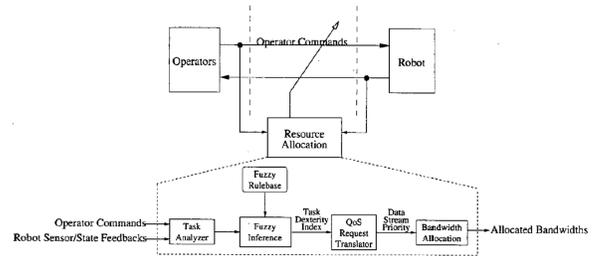


Fig. 2: Diagrama de Asginador de recursos

De la Figura 2, obtenida en [1], se implementa entre el operador y el robot, un asignador de recursos, el cual dado los distintos índices de destreza asigna distintos tipos de calidad de compresión de los datos.

## VII. RESULTADOS

Para la implementación se transmitió multimedia, pero como producía un retar muy grande por si solo (sobre 3 segundos), se mostró en una pantalla extendida los datos saliente del robot a la red de distintas calidades, esto vendría a representar los distintos tipos de compresión que se generan, además para el retardo se implementó un buffer entre el hardware de control y la aplicación.

Los distintos resultados fueron normalizados considerando el peor resultado con el mejor resultado. De esta manera las distintas métricas están en la misma escala.

### A. Resultados Preliminares

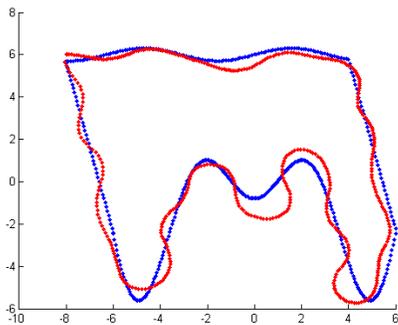


Fig. 3: Camino resultante de realización de 640x400 pixeles, y 300[ms] de latencia

Observando los resultados a simple vista, se observa que existe un compromiso entre la correcta ejecución del camino. Además de un peor resultado a intentar seguir caminos con mayor curvatura.

### B. Resultado Error Cuadrático medio

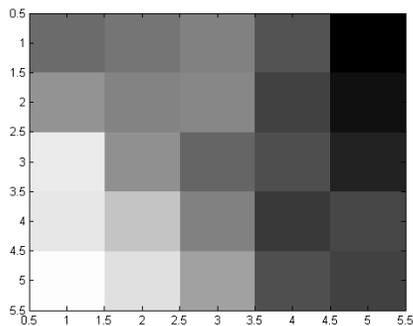


Fig. 4: Comparación error cuadrático medio entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

Se observa que existe una mayor contribución del retardo los resultados.

### C. Señales de control

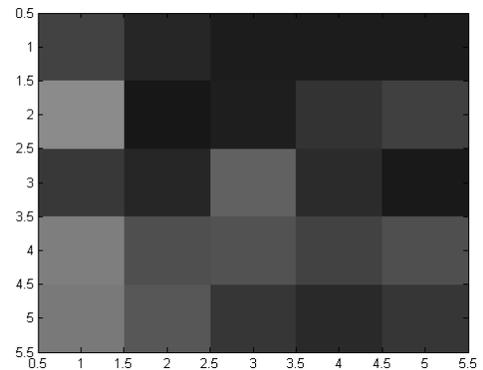


Fig. 5: Comparación velocidad angular entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

Si bien lo resultados no son tan convincentes, se observa un compromiso entre los distintos niveles de latencia y compresión.

### D. Estado del operador

1) *¿Cuál fue el nivel de dificultad operar?:* Como se muestra en la Figura 6 existe un compromiso fuerte del retardo, la latencia no afecta fuertemente a este resultado

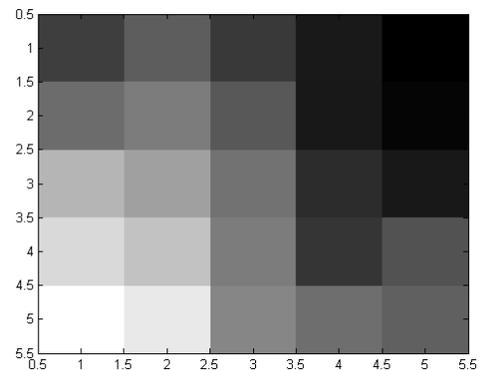


Fig. 6: Comparación nivel de dificultad entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

2) *¿Usted cree que logró el objetivo de la tarea?:* : A pesar de los distintos resultados, no existe una distinción clara entre la percepción del usuario respecto al cumplimiento del objetivo.

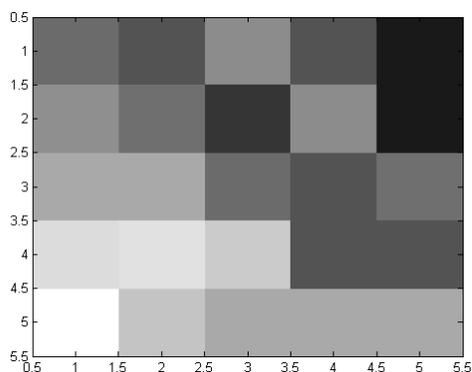


Fig. 7: Comparación percepción cumplimiento del objetivo entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

3) *¿Te sientes exhausto después de realizar la tarea?:* Como se observa en la Figura 8 esta pregunta esta fuera de lugar, como la prueba a realizar tiene una duración de 1[*min*], no da la oportunidad de producir cansancio en el operador

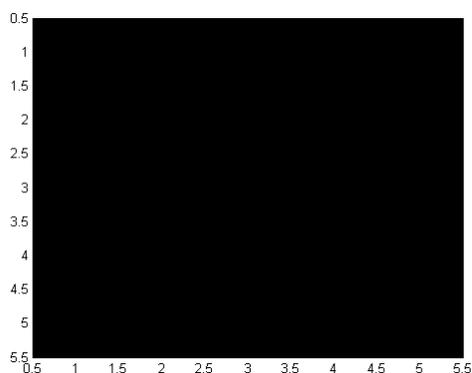


Fig. 8: Comparación cansancio operador entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

4) *¿Te sientes cómodo usando esta modalidad?:* En el resultado de la Figura 9 se observa de mejor manera el efecto de las distintas resoluciones. Si bien el usuario podría realizar las tareas a cierto tipo de asignación de recursos, no se sentía cómodo, porque tenía que forzar la vista.

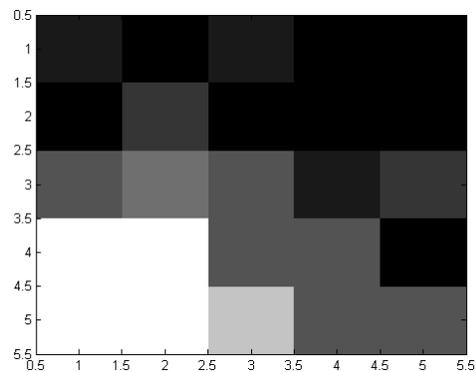


Fig. 9: Comparación comodidad operador entre latencia (eje x) y calidad de video (eje y)

#### E. Resultados para distintos índices de Destreza

Al utilizar los índices de destre se está realizando una ponderación entre los distintos parámetros, de esta manera los resultado son distintos dependiendo del tipo de privilegios que uno le dé a los distintos parámetros. A continuación se presentan algunos de los resultados.

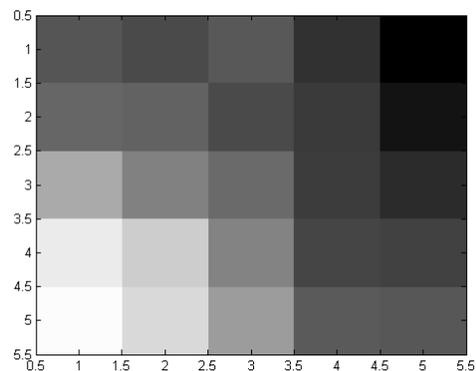


Fig. 10: Resultado con ponderación, Comodidad=3, mse= 5, resto 1

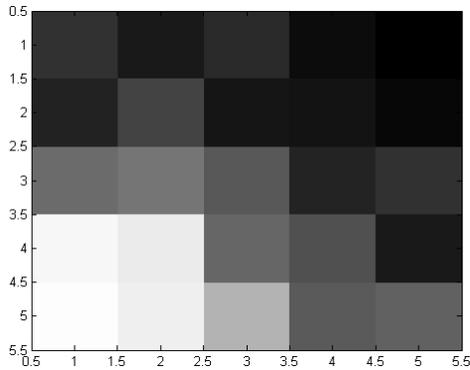


Fig. 11: Resultado con ponderación, Comodidad=5, mse= 3, resto 1

En el caso de las Figuras 10 y 11 se observan diferencias como que en el caso de privilegiar la comodidad del usuario por sobre la precisión de la tarea, es importante no sobrepasar cierto umbral (resolución bajo los 480x320[pixeles])

#### VIII. CONCLUSIONES

- La biorrealimentación sufre degradación debido a la compresión de datos y latencia en un sistema Teleoperado.
- Se puede encontrar una relación entre el retardo de la transmisión y la tasa de compresión.
- Los resultados muestran que existe una zona segura para la operación en los distintos índices de destreza, sin embargo para poder apreciarlo de forma más falta hace falta más pruebas.
- En esta tarea el ancho de banda no influye de forma tan notoria como el retardo, sin embargo sí se puede notar su efecto al momento de preguntar la incomodidad de realizar la tarea.
- Los resultados presentados representan la asignación de recursos de una tarea específica, los resultados cambiarán dependiendo de las distintas tareas a realizar, y de los distintos pesos que se le dé a los parámetros a analizar.

#### REFERENCES

- [1] W.K. Fung, N. Xi, W. Lo, B. Song, Y. Sun, and Y.H. Liu, "Task Driven Dynamic QoS based Bandwidth Allocation for Real-time Teleoperation via the Internet," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2003.
- [2] Z. C. Mutka, M. Y. Liu, A. Goradia and N. Xi "QoS management of supermedia enhanced teleoperation via overlay networks", Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., pp.1630 -1635 2005